

2. Сварка и родственные технологии в освоении космоса и мирового океана. 21 век. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.nkj.ru/archive/articles/7461/> Дата обращения - 01.10.2017. – Загл.с экрана.
3. Гусев А. И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. – Екатеринбург. Уро. РАН, 1998. – 199 с.
4. Нанопорошки сегодня и завтра [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.sciencecluster.ru/PressReleasesciencecluster/PressReleaseShow.asp?ID=4905> Дата обращения - 21.11.2017. – Загл.с экрана.
5. Д.С. Карцев, Е.А. Зернин. Применение наноразмерных частиц тугоплавких соединений при сварке и наплавке порошковой проволокой [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/15005> Дата обращения - 11.12.2017. – Загл.с экрана.
6. Производство и применение нанопорошков [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.nanorfu.ru/science.aspx?cat\\_id=394&d\\_no=1338&print=1](http://www.nanorfu.ru/science.aspx?cat_id=394&d_no=1338&print=1) Дата обращения - 21.11.2017. – Загл.с экрана.
7. Г.Н.Соколов, И.В. Зорин, А.А. Артемьев, В.Б. Литвиненко - Арьков, Ю.Н. Дубцов, В.И.Лысак, В.О.Харламов, А.В.Самохин, Ю.В.Цветков Особенности формирования структуры и свойств наплавленных сплавов под влиянием наночастиц тугоплавких соединений //Физика и химия обработки материалов. №2. 2014, с.38 – 47.
8. Техника сварки порошковой проволоки. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.welding.su/articles/raznoe/raznoe\\_74.html](http://www.welding.su/articles/raznoe/raznoe_74.html). Дата обращения – 20.03.2018. – Загл.с экрана
9. М.А. Кузнецов, Е.А. Зернин, к.т.н., доц., Д.С. Карцев. Влияние наноструктурированных порошков-модификаторов на коррозионную стойкость сварных соединений из высоколегированной стали аустенитного класса. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C88/C88.pdf>. Дата обращения - 11.12.2017. – Загл.с экрана

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТАВРОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

*В.В. Десятов<sup>1</sup>, А.В. Филонов<sup>2</sup>, А.В.Крюков<sup>1</sup>, А.А. Зеленковский<sup>1</sup>*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652050, г. Юрга, Кемеровская обл., ул. Ленинградская 26*

*Юргинский техникум машиностроения и информационных технологий*

*652050, г. Юрга, Кемеровская обл., ул. Ленинградская 10*

*earendill@mail.ru*

В данной статье рассмотрен способ определения напряженно-деформированного состояния таврового сварного соединения.

Сварка является одним из наиболее эффективных способов получения неразъемных соединений [1,2]. Однако одним из наиболее важных факторов, влияющих на эффективность ее применения, является формирование при сварке остаточных напряжений и деформаций, существенно влияющих на технологичность процесса.

Сварочный процесс сопровождается неравномерным высокотемпературным нагревом. Если напряжения от температурного расширения металла превышают предел текучести материала, то после остывания в деталях остаются остаточные напряжения [3]. Это характерно для всех способов сварки, связанных с нагревом.

Интерес к исследованию остаточных напряжений в сварных конструкциях обуславливается тем, что они существенно влияют на прочность и долговечность сварного соединения. В связи с этим при проектировании конструкций и разработке технологий их изготовления целесообразно иметь наглядную картину напряженно-деформированного состояния конструкций, для обеспечения наилучшего качества продукции.

В настоящее время получили широкое распространение расчетные методы. Использование расчетных методов позволяют существенно сократить сроки исследования, сэкономить сварочные и другие расходные материалы. Кроме того расчетные методы исследования позволяют наглядно и с высокой степенью точности визуализировать полученные результаты. Расчетные методы опираются на математическое моделирование сварочных процессов с помощью ЭВМ. Одной из важных задач математического моделирования является разработка моделей адекватно описывающих те или иные сварочные процессы, или их взаимосвязь между собой.

В статье рассматривается расчетная модель напряженно-деформированного состояния сварного таврового соединения.

Моделирование проводилось в трехмерной постановке. На рисунке приведена геометрическая модель таврового соединения.

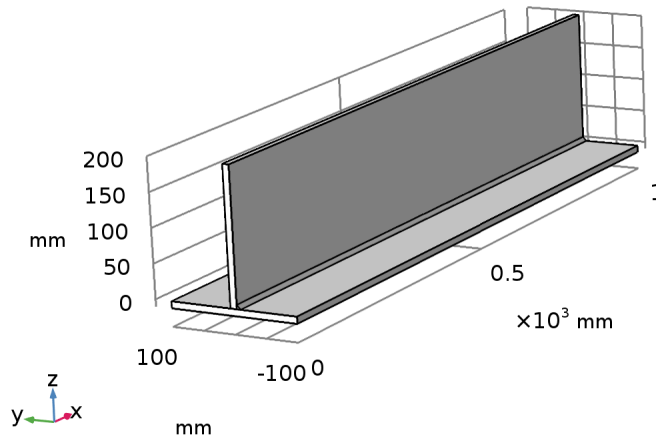


Рис.1 Геометрическая модель задачи

В процессе работы рассматривались две задачи: теплопроводность в твердом теле и механика твердого тела.

Для анализа распространения теплоты использовалось следующее основное дифференциальное уравнение теплопроводности [17-18]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t}(x, y, z) = \nabla(k \nabla T) + Q(x, y, z, t), \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность материала, г/мм<sup>3</sup>;  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C);  $T$  – текущая температура;  $Q$  – удельное тепловложение, Вт/мм<sup>3</sup>,  $x, y, z$  – координаты;  $t$  – время, с;  $\nabla$  – оператор пространственного градиента.

Для расчетов тепловой задачи были использованы следующие Температурозависимые характеристики стали 09Г2С: плотность; теплопроводность; скрытая теплота плавления; теплоемкость.

Выделенную теплоту от движущейся сварочной дуги, которую рассматривали как объемный источник теплоты с двойным эллиптическим распределением (рисунок 3) [4], рассчитывали с помощью следующих уравнений:

$$Q_f = \frac{6 \cdot \sqrt{3} \cdot \eta \cdot Q_0 \cdot f_f}{\pi \cdot \sqrt{\pi} \cdot a_r \cdot b \cdot c} \cdot \exp\left(-3\left(\frac{z^2}{a_r^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{c^2}\right)\right),$$

$$Q_r = \frac{6 \cdot \sqrt{3} \cdot \eta \cdot Q_0 \cdot f_r}{\pi \cdot \sqrt{\pi} \cdot a_r \cdot b \cdot c} \cdot \exp\left(-3\left(\frac{z^2}{a_r^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{c^2}\right)\right), \quad (2)$$

где  $x, y, z$  – координаты модели двойного эллипсоида совмещенного со сварочной проволокой;  $f_f, f_r$  – описывающие долю теплоты, приходящуюся на переднюю и заднюю стороны пластины соответственно (таблица 1);  $Q_0$  – мощность теплового источника сварки, определяемая как  $Q_0 = IU\eta$ ;  $I$  – ток сварки;  $U$  – напряжение сварочной дуги;  $\eta$  – коэффициент полезного действия;  $a_f, a_r, b, c$  – параметры, связанные с характеристиками сварочного источника (рисунок 3); значения приведены в таблице 1.

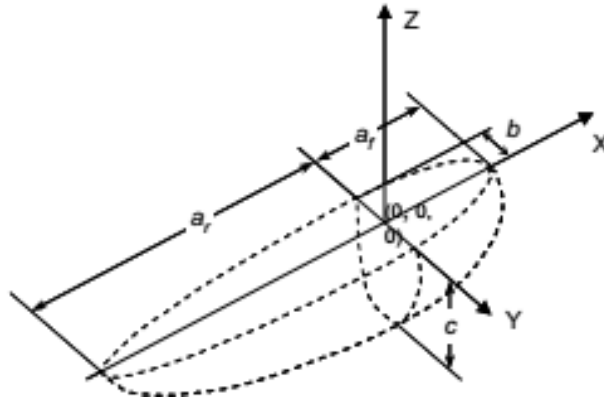


Рис 2 Объемный источник тепла с двойным эллиптическим распределением

Для определения механических напряжений использовались следующие зависимости:

$$\begin{aligned}
 -\nabla \cdot \sigma &= Fv, \quad \sigma = s \\
 s - S_0 &= C : (\varepsilon - \varepsilon_0 - \varepsilon_{inel}) \\
 \varepsilon &= \frac{1}{2} [(\nabla u)^T + \nabla u] \\
 F(\sigma, \sigma_{ys}) &\leq 0 \\
 F &= \sigma_{mises} - \sigma_{ys} \\
 \sigma_{ys} &= \sigma_{ys0} + \frac{E_{Tis0}}{1 - \frac{E_{Tis0}}{E}} \varepsilon_p
 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $u$  – поле распределения деформаций,  $F$  – силовая нагрузка,  $\sigma$  – напряжение,  $\varepsilon$  – деформация,  $E$  – модуль упругости.

Для определения начальных условий по торцам геометрической модели определена нулевая предопределенная деформация.

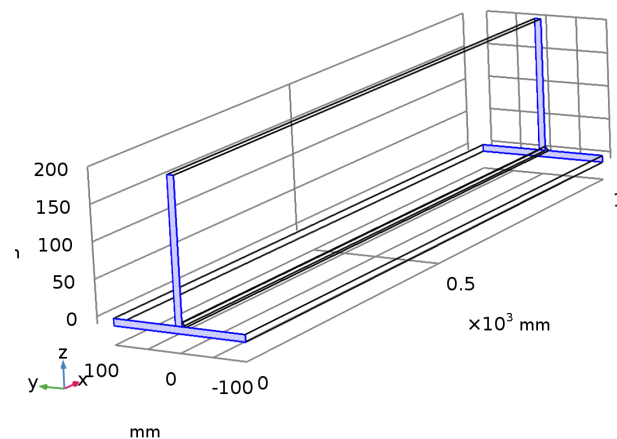


Рис 3 Ограничения

Использовались следующие температурозависимые параметры:

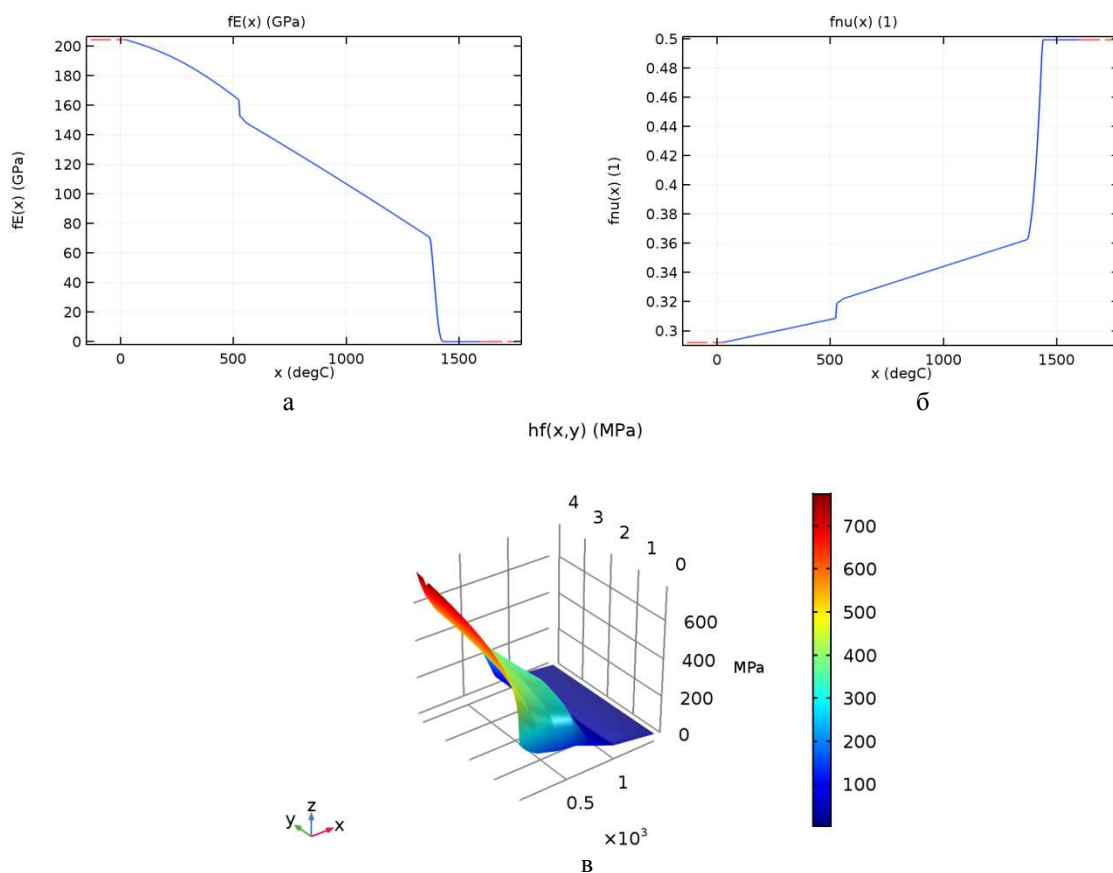


Рис 3 Температурозависимые характеристики материала  
а) модуль Юнга, б) коэффициент Пуассона, в) предел текучести

Время сварки выбиралось из расчета прохождения источником теплоты всей длины.

В результате расчета были получены:

- распределения полей температуры с течением времени;
- распределения полей напряжений и деформаций с течением времени.

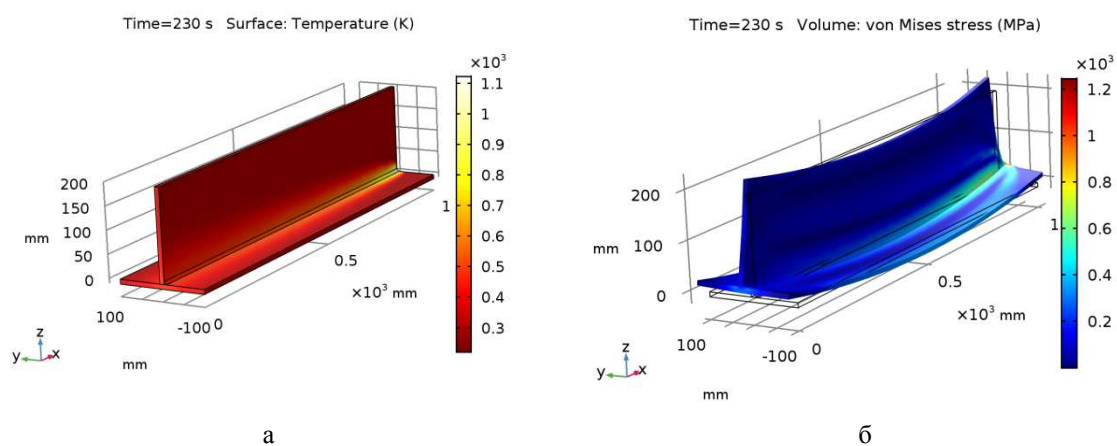


Рис 4 Расчетные данные  
а) распределение температур, б) распределение напряжений

Адекватность модели проверялась экспериментально. Погрешность не превышает 3%.

Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем при проектировании металлических конструкций и разработке технологических процессов

Таким образом, получена расчетная модель, описывающая механические процессы в тавровом соединении при сварке. Модель позволяет оперативно и наглядно оценить степень влияния сварочных процессов на напряженно-деформированное состояние конструкции.

#### Список литературы

1. Кузьминов С.А. Сварочные деформации судовых корпусных конструкций – Л.: Судостроение, 1974г.
2. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций – М.: Высшая школа, 1982.-272с.
3. Бигер И.А. Остаточные напряжения.- М.: Машгиз, 1963.- 233с.
4. Goldak, J. A., Chakravarti, A., Bibby, M.: A New Finite Element Model for Welding Heat Sources. Metallurgical and Materials Transactions B 15(1984), pp. 299-305.

### **КОНТРОЛЬ МЕТАЛЛА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ И ПОВРЕЖДЕННЫХ ГНУТЫХ УЧАСТКОВ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ**

*Н. В. Абабков, к.т.н., доц., А. Н. Смирнов, д.т.н., проф., Е. Е. Левашова, ст. преп.*

*ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет*

*имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, ул. Весенняя, 28*

*E-mail: n.ababkov@rambler.ru*

В работе проведено исследование металла эксплуатируемых и поврежденных гнутых участков и сварных соединений паропроводов спектрально-акустическим методом контроля. Исследованы образцы, не имеющие повреждений, образец с коррозионно-усталостной трещиной и образцы с технологическими дефектами типа заката. Построены графические зависимости акустических характеристик от времени наработки. Установлены значения акустических характеристик, соответствующие дефектному состоянию для металла гнутых участков и сварных соединений паропроводов.

Investigation of the metal of exploited and damaged bends of water and steam-removing pipes by the spectral-acoustic control method and by the method of electron microscopy was carried out in the work. A sample without damages, a specimen with a corrosion-fatigue crack and a sample with a technological sun-set type defect were investigated. Graphic dependencies of acoustic characteristics on the time of operating time are constructed. The values of the acoustic characteristics corresponding to the defective state for the metal of the bends of the water and steam-removing pipes have been established.

В процессе эксплуатации элементов технических устройств опасных производственных объектов (ТУОПО) теплоэнергетической промышленности возникает целый ряд проблем, которые могут привести к техногенным катастрофам и человеческим жертвам.

Для таких элементов теплоэнергетической промышленности, как гнутые участки и сварные соединения паропроводов, которые изготовлены из стали 20, характерным является процесс выделения структурно свободного графита [1] в металле сварных соединений и в основном металле. Наиболее часто данное явление происходит на участках труб с наибольшими напряжениями, а именно в металле гнутых участков и сварных соединений паропроводов. При выполнении требований нормативной документации [2, 3] из-за наличия графита в основном металле труб часто приходится сталкиваться с переваркой всех сварных стыков паропровода или заменой всего паропровода. Эта проблема в настоящее время весьма актуальна и относится к паропроводам среднего давления. Несмотря на исключительную опасность активно действующих факторов, происходящих в металле этих паропроводов, обязательные работы по их диагностике не всегда проводятся в необходимых объемах [1, 4, 5, 10].

Поэтому весьма актуальным становится вопрос разработки новых, эффективных технологий, методов и способов оценки работоспособности и восстановления ресурса элементов технических устройств [7, 8, 11]. Для обеспечения безопасной эксплуатации ответственных конструкций все более широкое распространение получает концепция, основанная на «прогнозировании и предупреждении» вместо используемой старой концепции «обнаружение и устранение» [11].

Одним из методов контроля состояния металла сварных соединений, основного металла и выявления несплошностей в настоящее время является спектрально-акустический метод. Ранее авторами [11–14] было установлено, что данный метод контроля является чувствительным методом оценки локальных полей внутренних напряжений и параметров микроструктуры (плотности дислокаций, кривизны-кручения